1 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能、血清生化指标及肝脏中胰岛素样生长因子-Ⅰ基
2 因表达的影响[1]

3 王立改[1,2] 曾文繁[2] 楼 宝[1] 詹 炜[1] 陈睿毅[1] 刘 峰[1,2] 徐冬冬[1] 谢庆平[1]

4 （1.浙江省海洋水产研究所，浙江省海水增养殖重点实验室，舟山 316000；2.浙江海洋大学，
5 舟山 316000）

6 摘 要：本试验旨在研究发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能、血清生化指标和肝脏中
7 胰岛素样生长因子-Ⅰ（*IGF*-Ⅰ）基因相对表达量的影响，以确定黄姑鱼幼鱼饲料中发酵豆
8 粕替代鱼粉的适宜比例。试验首先以秘鲁鱼粉、豆粕、小麦蛋白粉为主要蛋白质源，鱼油、
9 大豆油和大豆卵磷脂为主要脂肪源，配制含45%鱼粉的基础饲料，然后以发酵豆粕替代基础
10 饲料中0（FSM0组，作为对照组）、10%（FSM10组）、20%（FSM20组）、30%（FSM30
11 组）、40%（FSM40组）和50%（FSM50组）的鱼粉，并在除对照组外的各组饲料中添加适
12 量赖氨酸和蛋氨酸，以保持各组赖氨酸和蛋氨酸含量的一致，配制6种等氮（蛋白质水平为
13 50%）等脂（脂肪水平为12%）的试验饲料。选取初始体重为(31.24±0.02) g的黄姑鱼幼鱼
14 360尾，随机分为6组，每组3个重复，每个重复20尾，养殖试验持续8周。结果表明：
15 FSM10、FSM20和FSM30组黄姑鱼幼鱼的增重率、特定生长率和饲料系数与对照组相比没
16 有显著性差异（P>0.05），而FSM40和FSM50组黄姑鱼幼鱼的增重率和特定生长率显著低
17 于对照组（P<0.05），饲料系数显著高于对照组(P<0.05)；各组黄姑鱼幼鱼的成活率无显著
18 性差异（P>0.05）。发酵豆粕替代不同比例鱼粉对黄姑鱼幼鱼的肝体比、脏体比和肥满度没
19 有产生显著性影响（P>0.05）。FSM40和FSM50组黄姑鱼幼鱼血清中谷草转氨酶（AST）活
20 性显著高于其他组（P<0.05），且FSM50组黄姑鱼幼鱼血清中的谷丙转氨酶（ALT）活性
21 显著高于对照组和FSM10组（P<0.05）。FSM50组黄姑鱼幼鱼肝脏中*IGF*-Ⅰ基因相对表达
22 量显著低于对照组（P<0.05）。综合各指标，本试验条件下，发酵豆粕替代饲料中20%~30%
23 的鱼粉较为适宜，过高的替代比例会降低黄姑鱼幼鱼的生长性能和饲料利用率。

收稿日期：2017-09-04
基金项目：国家自然科学基金项目（41476127）；浙江省科技厅开展协同创新项目（2016F50038）；舟山市科技计划项目（2015C31010）；浙江海洋大学博士启动基金（2014Q1434）
作者简介：王立改（1983—），女，河北邢台人，助理研究员，博士，从事水生动物营养与饲料研究。E-mail: wligaikuaile@126.com
*通信作者：楼 宝，研究员，博士生导师，E-mail: loubao6577@163.com

24 关键词：黄姑鱼幼鱼；发酵豆粕；鱼粉；生长性能；*IGF*-Ⅰ基因

25 中图分类号：S963 文献标识码：A 文章编号：

26 鱼粉是最重要的水产饲料蛋白质源，然而，随着水产养殖业的飞速发展，鱼粉需求量日
27 益增大，鱼粉价格也随之飙升，成为水产饲料中成本最高的原料[1]，因此寻找可以有效替代
28 鱼粉的廉价蛋白质源成为水产营养研究中的热点问题。植物性蛋白质源由于资源相对丰富、
29 产量稳定，成为鱼粉替代蛋白质源的研究重点，应用较为广泛的植物性蛋白质源集中于豆粕、
30 菜籽粕和棉籽粕等几种原料。然而，植物性蛋白质源适口性差，氨基酸组成不均衡并且含有
31 大量抗营养因子，会导致水产动物的生长性能较差[2]。发酵豆粕是利用有益微生物发酵豆粕
32 后获得，它去除了豆粕中的多种抗营养因子，同时产生了微生物蛋白质，丰富并平衡了豆粕
33 的蛋白质营养水平，最终改善了豆粕的营养品质，提高了饲料效率。发酵豆粕作为新型植物
34 性蛋白质源，具有促进动物生长[3]和提高机体免疫力的功能[4]。很多学者已经就发酵豆粕替
35 代鱼粉对鱼类的影响做了相关研究[5-9]，发酵豆粕替代鱼粉的比例由于鱼种、生长阶段、饲
36 料配方（尤其是对照组饲料中鱼粉的含量）、养殖周期等的不同，替代鱼粉的比例也会有所
37 不同。

38 鱼类的生长主要由生长激素（GH）/类胰岛素生长因子（IGFs）轴调控，而类胰岛素生
39 长因子Ⅰ(IGF-Ⅰ)作为 IGFs 家族中的一员[10]，主要通过抑制蛋白质分解和抑制萎缩相关泛
40 素酶的表达起促进生长和分化的作用。在鱼类的研究中发现，*IGF*-Ⅰ基因在肝脏中的表达量
41 受到营养状态的影响[11]。有研究指出，饲喂高比例植物蛋白质饲料的花鲈(*Lateolabrax*
42 *japonicas*)[12]和军曹鱼(*Rachycentron canadum*)[13]肝脏中的 *IGF*-Ⅰ基因的相对表达量显著下
43 降；另有研究发现，摄入低蛋氨酸[14]和赖氨酸[15]含量的饲料也会降低水产动物肝脏中 *IGF*-
44 Ⅰ基因的表达。

45 黄姑鱼（*Nibea albiflora*），属鲈形目（Perciformes），石首鱼科（Sciaenidae），黄姑鱼属
46 （*Nibea*），主要分布于中国沿海、朝鲜半岛及日本南部海域，是我国传统渔业的主要捕捞对
47 象[16]。黄姑鱼肉质鲜美、营养丰富、市场价格高，其人工养殖日益受到人们的重视。目前，
48 我国福建、浙江等地已经开展了黄姑鱼的人工养殖。对黄姑鱼营养方面的研究已有报道[17-21]，
49 但发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼影响的研究尚未见报道。因此，在本课题组前期研究的基础上，
50 本试验以发酵豆粕替代不同比例的鱼粉，研究其对黄姑鱼幼鱼生长性能、饲料利用、血清生
51 化指标及肝脏中 *IGF*-Ⅰ基因表达的影响，旨在确定黄姑鱼幼鱼饲料中发酵豆粕替代鱼粉的
52 适宜比例，为研发黄姑鱼低鱼粉高效配合饲料提供基础数据和理论依据。

53 1 材料与方法

54 1.1 试验设计与试验饲料制作

55 以秘鲁鱼粉、豆粕和小麦蛋白粉为主要蛋白质源，鱼油、豆油和大豆卵磷脂为主要脂肪
56 源，配制含 45%鱼粉的基础饲料。以发酵豆粕（购自北京市希普正慧生物饲料有限公司）替
57 代基础饲料中 0（FSM0 组，作为对照组）、10%（FSM10 组）、20%（FSM20 组）、30%（FSM30
58 组）、40%（FSM40 组）和 50%（FSM50 组）的鱼粉，以对照组饲料中赖氨酸和蛋氨酸含量
59 为依据，在对照组外的各组饲料中添加适量的赖氨酸和蛋氨酸，以保持各组饲料中赖氨酸和
60 蛋氨酸含量的一致，配制 6 种等氮（蛋白质水平为 50%）等脂（脂肪水平为 12%）的试验
61 饲料。鱼粉和发酵豆粕的营养成分和氨基酸组成见表 1，试验饲料组成及营养水平见表 2，
62 试验饲料的氨基酸组成见表 3。所有饲料原料分别粉碎过 60 目筛，然后按逐级扩大的方法
63 混合均匀，放入搅拌机加水搅拌，使其充分湿润，用双螺杆挤条机（华南理工大学，F-26
64 型）制作成形，然后用制粒机加工成直径为 2 和 4 mm 2 种规格的饲料，放入 90 ℃烘箱熟
65 化 30 min，然后于阴凉处自然风干，最后装于封口袋保存于－20 ℃冰箱待用。

66 表 1 鱼粉和发酵豆粕的营养成分和氨基酸组成（干物质基础）
67 Table 1 Nutritional components and amino acid composition of fish meal and FSM (DM
68 basis) %
69

项目 Items	鱼粉 Fish meal	发酵豆粕 FSM
营养成分 Nutritional components		
粗蛋白质 Crude protein	74.30	58.20
粗脂肪 Crude lipid	7.62	0.52
必需氨基酸 EAA		
苏氨酸 Thr	2.44	1.65
缬氨酸 Val	2.56	1.80
蛋氨酸 Met	1.70	0.43
异亮氨酸 Ile	2.26	1.73
亮氨酸 Leu	5.08	3.83
苯丙氨酸 Phe	2.06	1.96
赖氨酸 Lys	4.19	2.21
组氨酸 His	1.53	1.01
精氨酸 Arg	3.30	2.80
合计 Total	25.12	17.42
非必需氨基酸 NEAA		
天门冬氨酸 Asp	5.18	4.80
丝氨酸 Ser	2.27	2.21
谷氨酸 Glu	7.38	7.68
甘氨酸 Gly	3.79	1.83

丙氨酸 Ala	3.75	1.87
脯氨酸 Pro	2.56	2.11
酪氨酸 Tyr	1.60	1.02
总氨基酸 Total AA	51.65	38.94

70 表 2 试验饲料组成及营养水平（干物质基础）

71 Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups					
	FSM0	FSM10	FSM20	FSM30	FSM40	FSM50
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	45.00	39.68	34.36	29.06	23.75	17.60
发酵豆粕 FSM	0.00	6.79	13.58	20.35	27.12	33.92
豆粕 Soybean meal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
小麦蛋白粉 Wheat gluten meal	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
糊精 Dextrin	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
鱼油 Fish oil	3.67	3.86	4.04	4.23	4.41	4.63
豆油 Soybean oil	3.67	3.86	4.04	4.23	4.41	4.63
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
矿物质预混料 Mineral Premix[2)]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.32
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.00	0.07	0.15	0.22	0.29	0.40
纤维素 Cellulose	9.16	7.18	5.20	3.23	1.28	0.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels						
粗蛋白质 Crude protein	50.23	49.91	50.74	50.15	49.33	50.41
粗脂肪 Crude lipid	12.05	11.87	12.03	11.97	11.30	12.42
粗灰分 Ash	9.54	9.43	9.62	9.30	9.66	9.74

72

73 [1)]维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：硫胺素 thiamine
74 25 mg，核黄素 riboflavin 36.7 mg，VA 32 mg，VE 120 mg，VD_3 5 mg，VK 5.1 mg，VC 142 mg，盐酸吡哆
75 醇 pyridoxine hydrochloride 20 mg，VB12 cyanocobalamin 0.1，生物素 biotin 1.2 mg，泛酸钙 calcium
76 pantothenate 60 mg，叶酸 folic acid 20 mg，烟酸 niacin 200 mg，肌醇 inositol 792 mg。

77 [2)] 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets: $MgSO_4{\cdot}7H_2O$ 1
78 826 mg，$FeSO_4{\cdot}H_2O$ 119 mg，$ZnSO_4{\cdot}H_2O$ 76 mg，$MnSO_4{\cdot}H_2O$ 44 mg，$CoCl_2{\cdot}6H_2O$ 2 mg，KI 0.8 mg，
79 $CuSO_4{\cdot}5H_2O$ 1 mg，NaCl 100 mg，KH_2PO_4 233.2 mg，NaH_2PO_4 137.0 mg。

80

81 表 3 试验饲料的氨基酸组成（干物质基础）

82 Table 3 Amino acid composition of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups					
	FSM0	FSM10	FSM20	FSM30	FSM40	FSM50
必需氨基酸 EAA						

苏氨酸 Thr	1.83	1.76	1.70	1.77	1.69	1.62
缬氨酸 Val	3.29	5.11	4.37	4.31	4.74	4.14
蛋氨酸 Met	0.84	1.00	0.89	1.04	0.94	0.95
异亮氨酸 Ile	1.92	1.85	1.74	1.85	1.85	1.77
亮氨酸 Leu	3.35	2.95	2.7	3.13	2.94	2.95
苯丙氨酸 Phe	2.14	1.99	1.93	2.21	2.07	2.16
赖氨酸 Lys	3.00	2.64	2.38	2.72	2.53	2.58
组氨酸 His	1.29	1.15	1.06	1.16	1.09	1.09
精氨酸 Arg	2.62	2.41	2.26	2.63	2.47	2.47
合计 Total	20.28	20.86	19.03	20.82	20.32	19.73
非必需氨基酸 NEAA						
天门冬氨酸 Asp	3.67	2.84	3.55	3.45	3.25	3.14
丝氨酸 Ser	1.93	1.97	1.99	2.02	1.93	1.91
谷氨酸 Glu	6.58	5.87	5.98	5.36	5.49	5.62
甘氨酸 Gly	2.45	1.96	1.91	2.04	1.80	1.85
丙氨酸 Ala	2.42	1.91	1.94	2.03	1.96	1.94
脯氨酸 Pro	2.45	2.29	2.34	2.51	2.32	2.43
酪氨酸 Tyr	1.57	1.47	1.48	1.6	1.51	1.53
合计 Total	41.35	39.17	38.22	39.83	38.58	38.15

83

84 ### 1.2 试验用鱼及养殖管理

85 试验鱼为浙江省海洋水产研究所西轩渔业科技岛人工培育的苗种。初步选择 600 余尾黄
86 姑鱼幼鱼在室内 50 m^3 水泥池中集中暂养 2 周。暂养结束后，选用大小均匀、健康活泼的初
87 始体重为(31.24±0.02) g 的黄姑鱼幼鱼 360 尾，随机分为 6 组，每组 3 个重复，每个重复 20
88 尾，以重复为单位饲养于 500 L 钢化玻璃桶中。养殖试验在浙江省海洋水产研究所西轩渔业
89 科技岛的中挪海水鱼类营养与饲料联合实验室的流水系统中进行。每天分别在 07:00 和 16:00
90 各投喂 1 次，投喂量为鱼体重的 3%左右，每 2 周称重 1 次，以调整投喂量，养殖试验持续
91 8 周。养殖试验期间，水体温度为（27±2） ℃，pH 为 7.8~8.0，盐度为 28‰~29‰，溶解氧
92 浓度＞5.5 mg/L，氨氮浓度<0.05 mg/L。

93 ### 1.3 样品采集和指标测定

94 #### 1.3.1 样品采集

95 养殖试验结束后，停食 24 h 后计数，称重，对试验鱼用丁香酚麻醉。每个桶随机取 5
96 尾鱼，测量体长、体重后取内脏团和肝脏并称重，用于计算肝体比、脏体比和肥满度；另从
97 每个桶中随机取 3 尾鱼，用一次性无菌注射器（2 mL）自尾静脉取血，注入 2 mL 离心管中，
98 于 4 ℃条件下离心（3 000 r/min）10 min，取血清并保存于-80 ℃冰箱中，用于血清生化指
99 标测定；采血完毕后，用高温灭菌的镊子和剪刀采集试验鱼的肝脏，放于无菌无 RNA 酶的

100 2.0 mL 的离心管中，迅速置于液氮中冷冻，然后保存于-80 ℃冰箱中，用于肝脏 *IGF*-Ⅰ基
101 因相对表达量的测定。上述所有操作都于冰块上进行。
102 1.3.2 血清生化指标测定
103 血清生化指标由自动生化仪（Beckman DX-800，美国）测定。
104 1.3.3 肝脏中 *IGF*-Ⅰ基因的荧光实时定量 PCR
105 1.3.3.1 总 RNA 提取
106 使用北京索莱宝科技有限公司的总 RNA 快速提取试剂盒提取肝脏中总 RNA，操作步骤
107 见试剂盒说明书。
108 1.3.3.2 反转录 cDNA
109 使用北京全式金生物技术有限公司生产的反转录试剂盒[TransScript All-in-One
110 First-Strand cDNA Synthesis SuperMix for qPCR(One-Step gDNA Removal)]进行反转录，反应
111 体积为 20 μL，具体步骤如下：向 PCR 管中加入 4 μL 5×TransScript All-in-One SuperMix for
112 qPCR，1 μL gDNA Remover，6 μL RNase Free dH_2O，1 μL 总 RNA，以上操作在冰浴中完成；
113 将上述物质混匀，短暂离心后于 PCR 仪上进行反转录，反转录的反应条件为：37 ℃ 15 min；
114 85 ℃ 5 s；4 ℃，反应结束后置于-20 ℃保存备用。
115 1.3.3.3 引物设计与合成
116 根据本课题组前期获得的黄姑鱼 *IGF*-Ⅰ基因的部分序列设计黄姑鱼 *IGF*-Ⅰ基因特异性
117 引物，以β-肌动蛋白（β-actin）为内参基因，所有引物（表 4）均由上海生物工程技术有限
118 公司合成。

119 表 4 黄姑鱼 *IGF*-Ⅰ和β-actin 基因引物序列
120 Table 4 Primer sequences for *IGF*-Ⅰ and β-actin of yellow drum （*Nibea albiflora*）

基因 Genes	引物序列 Primer sequences （5’-3’）
β-肌动蛋白	F：AGACTGTTCCTCCTACCCCC
β-actin	R：AATCCTGAGTCAAGCGCCAA
类胰岛素生长因子-Ⅰ	F：TACTGTGCACCTGCCAAGAC
IGF-Ⅰ	R：CTCTGTGCCCTTGTCCACTT

121
122 1.3.3.4 实时荧光定量 PCR
123 以各组黄姑鱼幼鱼肝脏的 cDNA 为模板，使用 SYBR GreenⅠ嵌合荧光进行 PCR，目的

124 基因 *IGF*-Ⅰ扩增产物为 120 bp，内参基因β-actin 扩增产物为 161 bp。试剂盒为北京全式金
125 生物技术有限公司生产的 TransStart Tip Green qPCR Supermix。反应体系为 20 μL，具体如
126 下：10 μL 2×TransStart Tip Green qPCR SuperMix，上、下游引物各 0.4 μL，2 μL 模板，7.2 μL
127 ddH_2O。反应条件为：95 ℃预变性 30 s；94 ℃变性 5 s；60 ℃退火 15 s；72 ℃延伸 20 s，
128 共 40 个循环。反应结束后温度以每 5 s 5 ℃的速度从 60 ℃上升到 95 ℃，绘制熔解曲线，
129 以判断扩增产物的正确性。使用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法[22]对目的基因的相对表达量进行计算。

130 1.4 计算公式

131 成活率(SR，%)=100×终末尾数/初始尾数；
132 增重率(WGR，%)=100×(终末体重－初始体重)/初始体重；
133 特定生长率(SGR，%/d)=100×(ln 终末体重－ln 初始体重)/饲养天数；
134 饲料系数(FCR)=饲料消耗量/总增重（鱼体湿重）；
135 日摄食率（DFR，%）=100×饲料摄入量/[试验天数×(初始体重+终末体重)]；
136 肥满度（CF，g/cm^3）=100×体重/体长 ^{3}；
137 肝体比（HSI，%）=100×肝脏重/体重；
138 脏体比（VSI，%）=100×内脏重/体重。

139 1.5 数据统计

140 所有数据先采用 SPSS 19.0 的单因素方差分析（one-way ANOVA）程序进行差异显著性
141 分析，差异显著后再采用 Turkey's 法进行多重比较，显著水平设为 $P<0.05$。结果以“平均
142 值±标准误”表示。

143 2 结 果

144 2.1 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能的影响

145 由表 5 可知，FSM10、FSM20 和 FSM30 组黄姑鱼幼鱼的增重率、特定生长率和饲料系
146 数与对照组（FSM0 组）相比没有显著性差异（$P>0.05$），而 FSM40 和 FSM50 组黄姑鱼幼
147 鱼的增重率和特定生长率则显著低于对照组($P<0.05$)，饲料系数显著高于对照组($P<0.05$)。

148 表 5 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能的影响
149 Table 5 Effects of replacement of fish meal by FSM on growth performance of juvenile yellow
150 drum （*Nibea albiflora*）

项目 Items	组别 Groups FSM0	FSM10	FSM20	FSM30	FSM40	FSM50
初始体重 IBW/g	31.27±0.05	31.24±0.04	31.24±0.02	31.24±0.03	31.23±0.03	31.22±0.03
终末体重	70.88±3.45^{a}	63.52±2.77^{ab}	61.20±1.78^{ab}	61.30±1.74^{ab}	59.19±2.23^{b}	56.87±1.80^{b}

FBW/g						
增重率 WGR/%	126.73±11.10[a]	103.27±8.85[ab]	95.91±5.69[ab]	96.08±5.52[ab]	89.53±7.14[b]	82.15±5.74[b]
特定生长率 SGR/(%/d)	1.45±0.09[a]	1.25±0.08[ab]	1.20±0.05[ab]	1.20±0.05[ab]	1.13±0.07[b]	1.01±0.08[b]
饲料系数 FCR	1.38±0.13[b]	1.72±0.15[ab]	1.78±0.09[ab]	1.79±0.10[ab]	1.98±0.15[a]	1.96±0.05[a]
日摄食率 DFI/%	2.28±0.21	2.16±0.07	2.10±0.03	2.03±0.04	2.09±0.06	2.09±0.02
成活率 SR/%	100.00±0.00	98.30±2.89	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	98.30±2.89

151 同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显

152 著($P<0.05$)。下表同。

153 In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant

154 difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference (P

155 <0.05). The same as below.

156 2.2 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼形态学指标的影响

157 由表 6 可知，发酵豆粕替代不同比例鱼粉对黄姑鱼幼鱼的肝体比、脏体比和肥满度均未

158 产生显著性影响（$P>0.05$）。

159 表 6 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼形态学指标的影响

160 Table 6 Effects of replacement of fish meal by FSM on morphology indices of juvenile yellow

161 drum （*Nibea albiflora*）

项目 Items	组别 Groups					
	FSM0	FSM10	FSM20	FSM30	FSM40	FSM50
肝体比 HSI/%	1.66±0.16	1.63±0.10	1.79±0.16	1.91±0.12	1.64±0.15	1.94±0.10
脏体比 VSI/%	4.91±0.32	4.99±0.23	4.94±0.31	5.11±0.23	5.17±0.23	5.64±0.34
肥满度 CF/(g/cm³)	1.70±0.02	1.65±0.05	1.67±0.04	1.61±0.04	1.63±0.02	1.63±0.03

162 2.3 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼血清生化指标的影响

163 由表 7 可知，发酵豆粕替代不同比例鱼粉对黄姑鱼幼鱼血清中总蛋白（TP）、胆固醇

164 （CHOL）、甘油三酯（TG）、高密度脂蛋白胆固醇(HLD-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)

165 含量的影响均不显著（$P>0.05$）；FSM40 和 FSM50 组黄姑鱼幼鱼血清中谷草转氨酶（AST）

166 活性显著高于其他 4 组($P<0.05$)，同时 FSM50 组黄姑鱼幼鱼血清中谷丙转氨酶（ALT）活性

167 显著高于对照组和 FSM10 组($P<0.05$)。

168 表 7　发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼血清生化指标的影响

169 Table 7　Effects of replacement of fish meal by FSM on serum biochemical indices of juvenile

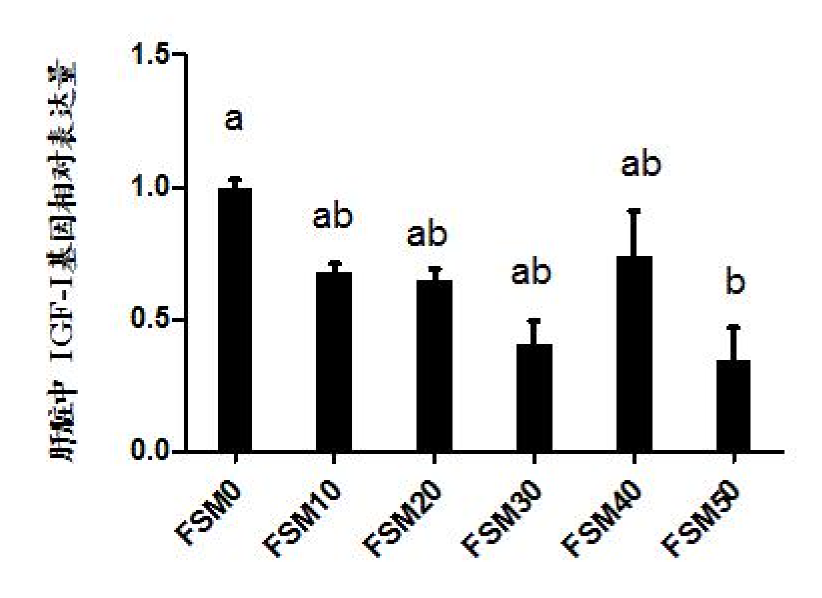
170 yellow drum （*Nibea albiflora*）

项目	组别 Groups					
Items	FSM0	FSM10	FSM20	FSM30	FSM40	FSM50
总蛋白 TP/（g/L）	23.05±3.25	26.40±3.70	28.37±2.36	27.85±0.85	27.53±1.81	23.37±1.88
胆固醇 CHOL/(mmol/L)	3.14±0.60	3.82±0.54	3.66±0.40	3.40±0.26	2.92±0.18	2.85±0.12
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.27±0.05	1.46±0.35	1.58±0.25	1.44±0.11	1.51±0.14	1.34±0.23
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	0.61±0.13	0.68±0.07	0.71±0.06	0.67±0.05	0.59±0.09	0.59±0.03
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.36±0.08	0.63±0.10	0.57±0.15	0.45±0.08	0.31±0.05	0.31±0.06
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.69±0.70	4.69±0.67	4.58±0.60	4.33±0.81	3.92±0.44	4.11±0.56
谷草转氨酶 AST/(U/L)	24.50±5.50[b]	17.00±6.00[b]	26.00±1.00[b]	47.00±1.00[b]	59.00±1.50[a]	59.00±1.20[a]
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	3.00±0.50[b]	3.50±0.50[b]	4.30±0.33[ab]	7.00±1.00[ab]	5.70±1.20[ab]	9.10±1.00[a]

171 2.4　发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼肝脏中 *IGF*-Ⅰ基因表达的影响

172 图 1 显示，FSM50 组黄姑鱼幼鱼肝脏中 *IGF*-Ⅰ基因的相对表达量显著低于对照组

173 (P<0.05)，其他组间无显著性差异(P>0.05)。



174

175 图 1 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼肝脏中 *IGF*-Ⅰ基因相对表达量的影响

176 Fig.1 Effects of replacement of fish meal by FSM on liver *IGF*-Ⅰ gene relative expression

177 level of juvenile yellow drum (*Nibea albiflora*)

178 3 讨 论

179 3.1 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能的影响

180 在本课题组前期研究的基础上，本试验对发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能的影
181 响进行了研究，主要目的是研制低鱼粉高效黄姑鱼配合饲料。研究结果发现，各组黄姑鱼幼
182 鱼的成活率没有显著性差异，且成活率均在 98%以上。但是随着发酵豆粕替代鱼粉比例的升
183 高，黄姑鱼幼鱼的增重率、特定生长率出现下降趋势，FSM40 和 FSM50 组显著低于对照组，
184 而饲料系数则显著高于对照组。分析其原因可能是含高比例植物性蛋白质源的饲料的适口性
185 较差，降低了黄姑鱼幼鱼的摄食率[6]，造成营养物质摄入不足，导致生长性能下降，饲料利
186 用效率降低；另外，与鱼粉相比，植物性蛋白质源存在必需氨基酸不平衡问题，随着发酵豆
187 粕替代鱼粉比例的升高，氨基酸的不平衡性可能对黄姑鱼幼鱼的生长产生了抑制作用[23]。因
188 此，在本饲料配方基础上，发酵豆粕可替代 20%~30%的鱼粉而不会影响黄姑鱼幼鱼（初始
189 体重 31.2 g 左右，养殖周期 56 d）的生长。发酵豆粕替代鱼粉的研究在日本尖吻鲈鱼[8]
190 （*Lateolabrax japonicas*）、黑鲷[9]（*Acanthopagrus schlegeli*）、虹鳟[24](*Oncorhynchus mykiss*)
191 和大黄鱼（*Larimichthys crocea*）[6]中的结果与本研究结果类似。饲料中发酵豆粕替代鱼粉的
192 比例由于鱼种、生长阶段、饲料配方(尤其是对照组饲料中鱼粉的含量)及饲养周期的不同而
193 会有所不同。Lee 等[25]指出许氏鲆鲉(*Sebastes schlegeli*)幼鱼阶段对发酵豆粕的耐受性要低于

194 成鱼阶段，1.2 g 左右的许氏鲆鲉可耐受发酵豆粕替代饲料中 10%的鱼粉，而对于生长阶段
195 的许氏鲆鲉(148.2 g 左右)，发酵豆粕替代饲料中鱼粉的比例可以达到 40%。本研究还发现发
196 酵豆粕替代不同比例鱼粉对黄姑鱼幼鱼的肝体比、脏体比和肥满度没有产生显著性影响，这
197 与冯建等[6]的研究结果一致，而与 Liang 等[8]研究结果不一致。Liang 等[8]研究发现，替代 50%
198 鱼粉组日本尖吻鲈（*L. japonicas*）的肥满度、肝体比和脏体比显著低于对照组，值得注意的
199 是，后者的饲养周期为 16 周，而本试验的饲养周期为 8 周，后期研究可进一步探讨不同养
200 殖周期对发酵豆粕替代鱼粉养殖效果的影响。

201 3.2 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼血清生化指标的影响

202 鱼类血液与机体的代谢、营养状况、疾病有着密切的关系[26]。血清中 TP 含量与机体健
203 康状况密切相关，血清 TP 含量降低表明肝功能发生障碍。王赛等[27]研究表明豆粕替代 20%
204 鱼粉时显著降低了褐点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)血清 TP 含量；而冯建等[6]研究指出
205 发酵豆粕替代不同比例的鱼粉对大黄鱼血清 TP 含量无显著影响。本试验发现，随着发酵豆
206 粕替代鱼粉比例的升高，黄姑鱼幼鱼血清中 TP 含量无显著变化。由于植物蛋白质中异黄酮
207 的存在使得植物性蛋白质源替代鱼粉可降低血清中 CHOL 的含量[28]。在异育银鲫[29]
208 （*Carassius auratus gibelio*）和牙鲆[30](*Paralichthys olivaceus*)的研究中发现豆粕替代鱼粉显
209 著降低了血清中 CHOL 的含量；王文娟等[31]研究报道 30%豆粕组异育银鲫血清总胆固醇
210 （TCHO）和 HDL-C 含量均显著低于鱼粉组；而在大黄鱼[6]和黄鳝[32]（*Monopterus albus*）
211 的研究中则发现发酵豆粕和膨化大豆替代鱼粉对试验鱼血清中 CHOL 的含量没有产生显著
212 影响。在本试验中也发现发酵豆粕替代不同比例鱼粉对黄姑鱼幼鱼血清中的 CHOL、HDL-C
213 和 LDL-C 含量均没有产生显著影响，可能与养殖种类及养殖周期的长短有关。

214 AST 和 ALT 主要分布于肝细胞中，它们在血清中的活性很低，只有当肝细胞受损伤时，
215 细胞膜通透性增强或细胞坏死，ALT 和 AST 由肝细胞中释放使其在血清中的活性升高，其
216 升高程度与肝细胞受损程度相一致[33]。本研究发现，发酵豆粕替代 40%和 50%鱼粉也即
217 FSM40 和 FSM50 组黄姑鱼幼鱼血清中 AST 活性显著高于其他组，FSM50 组黄姑鱼幼鱼血
218 清中 ALT 活性显著高于对照组和 FSM20 组，这表明高添加量的发酵豆粕可能对黄姑鱼幼鱼
219 机体有损伤作用，并引起生长性能下降。

220 3.3 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼肝脏 *IGF-* Ⅰ基因表达的影响

221 GH/IGFs 轴是鱼类生长的重要内分泌调控系统，IGF-Ⅰ在生长内分泌调控中是直接促进
222 生长的激素，能增加机体或细胞对氨基酸的摄取和利用，促进蛋白质和 RNA 的合成，促进
223 肌肉生长[34]。本研究中发现，随着发酵豆粕替代鱼粉比例的升高，黄姑鱼幼鱼肝脏中 *IGF-*

224 Ⅰ基因相对表达量呈下降趋势，当发酵豆粕替代50%的鱼粉时，*IGF*-Ⅰ基因表达量显著低于
225 对照组，与黄姑鱼幼鱼的生长情况相呼应。这与在金头鲷[35](*Sparus aurata*)、花鲈[12]和军曹
226 鱼[13]上的研究结果类似，在这些研究中均发现饲喂含高比例植物性蛋白质饲料会导致肝脏中
227 *IGF*-Ⅰ基因相对表达量下降。有研究指出肝脏中*IGF*-Ⅰ基因的表达受到营养状态的影响[11]，
228 禁食可降低肝脏中*IGF*-Ⅰ的基因相对表达量，而重新投喂食物后肝脏中*IGF*-Ⅰ基因的相对
229 表达量又随之上升[36]。本研究中黄姑鱼幼鱼的日摄食率随着发酵豆粕替代鱼粉比例的升高呈
230 下降趋势，这可能是导致黄姑鱼幼鱼肝脏中*IGF*-Ⅰ基因相对表达量下降的原因之一；另外，
231 氨基酸不平衡可能也是导致肝脏中*IGF*-Ⅰ基因相对表达量下降的原因[12-13]，本研究虽然在
232 对照组外的各组饲料中补充添加了发酵豆粕中的限制性氨基酸（赖氨酸和蛋氨酸），但是晶
233 体氨基酸和饲料中的蛋白质结合态氨基酸的不同步吸收有可能导致不同组间这2种氨基酸
234 的吸收量存在一定差异[13]。有研究指出蛋氨酸[14]和赖氨酸[15]均可提高鱼类肝脏中*IGF*-Ⅰ基
235 因的表达，因此高比例发酵豆粕组中较低的蛋氨酸和赖氨酸吸收水平有可能是导致黄姑鱼幼
236 鱼肝脏中*IGF*-Ⅰ基因相对表达量下降的另一原因。因此，黄姑鱼幼鱼饲料中发酵豆粕替代
237 鱼粉的比例不宜过高，后期研究可探讨比较在含高比例植物蛋白质源饲料中添加不同形式的
238 氨基酸单体的同步吸收效果。

239 ## 4 结　论

240 综上，在本试验条件下，发酵豆粕替代饲料中20%~30%的鱼粉较为适宜，过高的替代
241 比例会导致黄姑鱼幼鱼生长性能和饲料利用率下降。

242 参考文献：

243 [1] ZHOU Q C,ZHAO J,LI P,et al.Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for
244 juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture ,2011,322–323:122–127.
245 [2] YE J D,LIU X H,WANG Z J,et al.Effect of partial fish meal replacement by soybean meal on
246 the growth performance and biochemical indices of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys*
247 *olivaceus*)[J].Aquaculture International,2011,19(1):143–153.
248 [3] 李惠,黄峰,胡兵,等.发酵豆粕替代鱼粉对斑点叉尾鮰生长和饲料表观消化率的影响[J].淡
249 水渔业,2007,37(5):41–44.
250 [4] 陈萱,梁运祥,陈昌福.发酵豆粕饲料对异育银鲫非特异性免疫功能的影响[J].淡水渔
251 业,2005,35(2):6–8.
252 [5] 彭翔,宋文新,周凡,等.发酵豆粕替代鱼粉对黑鲷胃肠道和血清指标的影响[J].江苏农业学

253 报,2012,28(5):1096–1103.
254 [6] 冯建,王萍,何娇娇,等.发酵豆粕替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指
255 标及肝脏组织形态的影响[J].动物营养学报,2016,28(11):3493–3502.
256 [7] 林佳洁.发酵豆粕替代鱼粉对黄金鲫生长、免疫及肠道组织的影响[D].硕士学位论文.长
257 春:吉林农业大学,2016:32–33.
258 [8] LIANG X F,HU L,DONG Y C,et al.Substitution of fish meal by fermented soybean meal
259 affects the growth performance and flesh quality of Japanese seabass (*Lateolabrax*
260 *japonicas*)[J].Animal Feed Science and Technology,2017,229:1–12.
261 [9] AZARM H M,LEE S M.Effects of partial substitution of dietary fish meal by fermented
262 soybean meal on growth performance,amino acid and biochemical parameters of juvenile
263 black sea bream *Acanthopagrus schlegeli*[J].Aquaculture Research,2014,45(6):994–1003.
264 [10] RANKE M B,FELDT-RASMUSSEN U,BANG P,et al.How should insulin-like growth
265 factor I be measured?A consensus statement[J].Hormone Research,2001,55 Suppl 2:106–109.
266 [11] HEVRØY E M,AZPELETA C,SHIMIZU M,et al.Effects of short-term starvation on
267 ghrelin,GH-IGF system,and IGF binding proteins in Atlantic salmon[J].Fish Physiology and
268 Biochemistry,2011,37(1):217–232.
269 [12] MEN K K,AI Q H,MAI K S,et al.Effects of dietary corn gluten meal on growth,digestion
270 and protein metabolism in relation to *IGF*-Ⅰ gene expression of Japanese
271 seabass,*Lateolabrax japonicas*[J].Aquaculture,2014,428–429:303–309.
272 [13] LUO Y W,AI Q H,MAI K S,et al.Effects of dietary corn gluten meal on growth
273 performance and protein metabolism in relation to *IGF*-Ⅰ and *TOR* gene expression of
274 juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Journal of Ocean University of
275 China,2013,12(3):418–426.
276 [14] ROLLAND M,DALSGAARD J,HOLM J,et al.Dietary methionine level affects growth
277 performance and hepatic gene expression of GH-IGF system and protein turnover regulators
278 in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed plant protein-based diets[J].Comparative
279 Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,2015,181:33–41.
280 [15] HEVRØY E M,EL-MOWAFI A,TAYLOR R M,et al.Lysine intake affects gene expression
281 of anabolic hormones in Atlantic salmon,*Salmo salar*[J].General and Comparative

282 Endocrinology,2007,152(1):39–46.
283 [16] 薛宝贵,楼宝,徐冬冬,等.密度胁迫对黄姑鱼幼鱼生长、代谢及非特异性免疫的影响[J].
284 渔业科学进展,2013,34(2):45–51.
285 [17] 鲁琮,王立改,楼宝,等.饲料蛋白质水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的
286 影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3763–3771.
287 [18] WANG L G,LU Q,LUO S Y,et al.Effect of dietary lipid on growth performance,body
288 composition,plasma biochemical parameters and liver fatty acids content of juvenile yellow
289 drum *Nibea albiflora*[J].Aquaculture Report,2016,4:10–16.
290 [19] WANG L G,CHEN D X,LOU B,et al.The effects of dietary vitamin C on growth
291 performance,serum enzymes activities and resistance to *Vibrio alginolyticus* challenge of
292 yellow drum *Nibea albiflora*[J].Aquaculture Research,2017,48(9):4684–4695.
293 [20] 陈东星,王立改,楼宝.饲料中维生素 C 添加量对黄姑鱼体组成成分和组织中抗氧化酶活
294 力的影响[J].浙江海洋学院学报（自然科学版）,2016,35(6):472–477.
295 [21] 叶坤,王秋荣,谢仰杰,等.饲料脂肪水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、肌肉组成和血浆生化指
296 标的影响[J].动物营养学报,2017,29(4):1418–1426.
297 [22] LIVAK K J,SCHMITTGEN T D.Analysis of relative gene expression data using real-time
298 quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta Ct}$ method[J].Methods,2001,25(4):402–408.
299 [23] 代伟伟,麦康森,徐玮,等.复合植物蛋白源替代鱼粉对半滑舌鳎生长、生理生化指标和
300 肠组织结构的影响[J].中国水产科学,2016,23(1):125–137.
301 [24] BARNES M E,BROWN M L,NEIGER R.Comparative performance of two rainbow trout
302 strains fed fermented soybean meal[J].Aquaculture International,2015,23(5):1227–1238.
303 [25] LEE S M,AZARM H M,CHANG K H.Effects of dietary inclusion of fermented soybean
304 meal on growth,body composition,antioxidant enzyme activity and disease resistance of
305 rockfish (*Sebastes schlegeli*)[J].Aquaculture,2016,459:110–116.
306 [26] 周玉,郭文场,杨振国,等.鱼类血液学指标研究的进展[J].上海水产大学学
307 报,2001,10(2):163–165.
308 [27] 王赛,陈刚,张健东,等.不同蛋白质源部分替代鱼粉对褐点石斑鱼幼鱼生长性能、体组成
309 以及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(1):160–167.
310 [28] KAUSHIK S J,CRAVEDI J P,LALLES J P,et al.Partial or total replacement of fish meal by
311 soybean protein on growth,protein utilization,potential estrogenic or antigenic

312 effects,cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout,*Oncorhynchus*
313 *mykiss*[J].Aquaculture,1995,133(3/4):257–274.
314 [29] 王崇,雷武,解绶启,等.饲料中豆粕替代鱼粉蛋白对异育银鲫生长、代谢及免疫功能的影
315 响[J].水生生物学报,2009,33(4):740–747.
316 [30] 刘襄河,叶继丹,王子甲,等.饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆生长性能及生化指标的影
317 响[J].水产学报,2010,34(3):450–458.
318 [31] 王文娟,叶元土,蔡春芳,等.豆粕及其抗营养因子对异育银鲫血清生化和非特异性免疫
319 指标的影响[J].中国饲料,2010(18):30–33,41.
320 [32] 张俊智,吕富,郇志利,等.膨化豆粕替代不同比例鱼粉对黄鳝生长性能、体成分、肠道消
321 化酶活力及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(11):3567–3576.
322 [33] 吉红,程小飞,李杰,等.蚕蛹替代鱼粉对框鳞镜鲤幼鱼生长性能、体成分及健康状况的影
323 响[J].水产学报,2012,36(10):1599–1611.
324 [34] 孙伟,马文健,宋恩亮,等.饲喂不同水平热处理大豆对肉牛体组织和血清中类胰岛素生
325 长因子-I、生长激素、胰岛素和瘦素水平的影响[J].草食家畜,2011(2):35–39.
326 [35] GÓmez-REQUENIA P,MINGARROA M,CALDUCH-GINERA J A,et al.Protein growth
327 performance,amino acid utilization and somatotropic axis responsiveness to fish meal
328 replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus*
329 *aurata*)[J].Aquaculture,2004,232(1/2/3/4):493–510.
330 [36] PEDROSO F L,DE JESUS-AYSON E G,CORTADO H H,et al.Changes in mRNA
331 expression of grouper (*Epinephelus coioides*) growth hormone and insulin-like growth factor I
332 in response to nutritional status[J].General and Comparative
333 Endocrinology,2006,145(3):237–246.
334
335

336 Effects of Replacement of Fish Meal by Fermented Soybean Meal on Growth Performance, Serum
337 Biochemical Indices and Liver insulin-like growth factor- Ⅰ Gene Expression of Juvenile Yellow
338 Drum (*Nibea albflora*)

339 WANG Ligai[1,2] ZENG Weifan[2] LOU Bao[1*] ZHAN Wei[1] CHEN Ruiyi[1] LIU Feng[1,2] XU
340 Dongdong[1] XIE Qingping[1]
341 （1. *Zhejiang Marine Fisheries Research Institute*, *Zhejiang Provincial Key Lab of Mariculture &*

*Corresponding author, professor, E-mail: loubao6577@163.com （责任编辑 菅景颖）

342 *Enhancement*, *Zhoushan* 316000, *China;* 2. *Zhejiang Ocean University*, *Zhoushan* 316000*,*

343 *China*）

344 Abstract: An 8-week feed trial was conducted to evaluate the effect of replacement of fish meal by

345 fermented soybean meal on growth performance, serum biochemical indices and liver insulin-like

346 growth factor-Ⅰ (*IGF*-Ⅰ) gene expression of juvenile yellow drum (*Nibea albflora*), and to

347 determine the appropriate ratio of fermented soybean meal replacement of fish meal in juvenile

348 yellow drum diet. A basal diet which contained 45% fish meal was formulated using Peru fish

349 meal, soybean meal and wheat meal as main protein sources, and fish oil, soybean oil and soybean

350 lecithin as main lipid source. Six isonitrogenous (protein level was 50%) and isolipidic (lipid level

351 was 12%) experimental diets were formulated by replacing 0 (FSM0 group, as control group),

352 10% (FSM10 group), 20% (FSM20 group), 30% (FSM30 group), 40% (FSM40 group) and 50%

353 (FSM50 group) fish meal with fermented soybean meal on the basis of the basal diet, respectively.

354 All diets were supplemented with lysine and methionine except the control group diet to keep the

355 lysine and methionine contents consistent in each group. A total of 360 juvenile yellow drum with

356 the initial body weight of (31.24±0.02) g were divided into 6 groups with 3 replicates per group

357 and 20 fish per replicate. The results showed that the weight gain rate, specific growth rate and

358 feed conversion rate of fish in FSM10, FSM20 and FSM30 groups had no significant differences

359 compared with control group (P>0.05). The weight gain rate and specific growth rate of fish in

360 FSM40 and FSM50 groups were significantly lower than those of fish in control group (P<0.05),

361 however, the feed conversion rate of fish in FSM40 and FSM50 groups was significantly higher

362 than that of fish in control group (P<0.05). No significant differences were observed in the

363 survival ratio, hepatosomatic index, viscerosomatic index and condition factor (P>0.05). The

364 serum glutaminc oxalacetic transaminase (AST) activity of fish in FSM40 and FSM50 groups was

365 significantly higher than that of fish in other groups (P<0.05), and the fish in FSM50 group had a

366 significantly higher glutamic-pyruvic transaminase (ALT) activities compared with that of fish in

367 control group and FSM10 group (P<0.05）. The fish in FSM50 group had a significantly lower

368 *IGF*-Ⅰ gene relative expression level compared with that of fish in control group (P<0.05).

369 Overall, The appropriate substitute range of fermented soybean meal replacement of fish meal are

370 20% to 30%, high replacement ratio will cause a decrease in the growth performance and feed

371 utilization efficiency of juvenile yellow drum.

372 Key words: juvenile yellow drum （*Nibea albflora*）; fermented soybean meal; fish meal; growth
373 performance; *IGF*-Ⅰ gene
374